六斑月瓢虫对菊小长管蚜的捕食作用

段金花[1,2]，张润杰[1*]

（1.中山大学生物防治国家重点实验室/昆虫学研究所，广州　510275；　2.广东省疾病预防控制中心，广州　510275）

摘要：六斑月瓢虫对菊小长管蚜的捕食功能反应符合 Holling Ⅱ型方程。功能反应受到温度、容器大小和捕食者密度的影响。在同一温度下，六斑月瓢虫的捕食量随着猎物密度的增加而增大，寻找效应随着猎物密度的增加而降低。在 15℃～25℃范围内，随着温度的升高，捕食的菊小长管蚜高龄若蚜头数增多，而在 25℃～35℃有相反的趋势，以 25℃下的捕食数量最大，平均达 95 头/天，捕食上限达 392.1 头。相同猎物密度条件下，温度与六斑月瓢虫捕食作用的关系可用二次曲线拟合，捕食的最适温度（25℃左右）与菊小长管蚜发生高峰季节的温度相吻合。六斑月瓢虫的捕食作用有较强的种内干扰反应，随着捕食者密度的增大，平均捕食量逐渐减少，捕食作用率也相应地降低，搜索常数 Q 为 0.9003，干扰系数 m 为 0.9816，$E = 0.9003P^{-0.9816}$。实际应用时，要充分考虑气象因子、瓢蚜密度比等对防效的影响，以期获得最佳防治效果。

关键词：六斑月瓢虫；菊小长管蚜；捕食作用；功能反应；干扰反应

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2004)02-0213-06

Predation of *Menochilus sexmaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) on *Macrosiphoniella sanborni* (Homoptera: Aphididae)

DUAN Jin-Hua[1,2], ZHANG Run-Jie[1*] (1. State Key Laboratory for Biocontrol & Institute of Entomology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Guangdong Center for Disease Control & Prevention, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The functional response of the lady beetle, *Menochilus sexmaculata* (Fabricius) predating on the chrysanthemum aphid, *Macrosiphoniella sanborni* (Gillete) old nymphs fitted the model of Holling Ⅱ type well. However, the predation was affected by temperature, vessel space and prey density. In the same temperature treatment, the higher of prey density was, the larger of predation number was found and the lower of finding efficiency was observed. In the range of 15℃－25℃, the predation number increased with the increasing temperature. However, in the range of 25℃－35℃, the predation number decreased with the increasing temperature. At 25℃, predation number was the highest, which was 392.1 capita with an average number of 95 capita per day. The relationship between predation number and temperature was fitted by quadratic regression equation. Intraspecific interference was found in the experiment. The average predation number and predation rate of *M. sexmaculata* decreased with the increasing of its density. The relationship between predation ratio (E) and natural enemy density (P) was described by equation of $E = 0.9003P^{0.9816}$. Searching constant (Q) is 0.9003, and disturbing coefficient (m) is 0.9816.

Key words: *Menochilus sexmaculata*; *Macrosiphoniella sanborni*; predation; functional response; intraspecific interference

六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata*（Fabricius）是一种广食性的捕食性昆虫，可捕食十几种蚜虫及木虱等，捕食能力较强，对蚜虫有较好的控制作用（庞虹，1991；马骁等，1996；侯美珍，1998；吴淼生，2000）。该种瓢虫分布较广泛，我国的东北、四川、贵州、云南、湖南、台湾以及日本、印度等地均有发现（章士美等，1980），是广东地区的常见瓢虫。本文报道六斑月瓢虫对菊花上的重要害虫——菊小长管蚜 *Macrosiphoniella sanborni*（Gillete）的捕食作用及其种内干扰反应。

作者简介：段金花，女，1977 生，硕士，现工作于广东省疾病预防控制中心，E-mail：duankathie@yahoo.com.cn

＊通讯作者 Author for correspondence，E-mail：ls11@zsu.edu.cn

收稿日期 Received：2003-03-05；接受日期 Accepted：2003-12-16

1 材料与方法

1.1 材料

实验所用的捕食实验容器为：内径 5 cm，高 10 cm 和内径 8 cm，高 10 cm 的广口瓶，瓶口用细密的纱布封口；长 16.7 cm，宽 11.4 cm，高 6 cm 的长方体木盒，盒盖中间开出 11.7 cm × 8 cm 大小的开口，开口处用细密的纱布封口。瓢虫的交配和饲养容器为内径 8 cm，高 10 cm 广口瓶。

将中山大学昆虫所实验园地采集的六斑月瓢虫成虫配对放入瓶中交配繁殖，收集 0 ~ 24 h 内产下的卵，并放入瓶内，在恒温 25℃ ± 1℃，相对湿度 80% ± 5% 的条件下孵化饲养（主要利用各种蚜虫喂食，并配以蜂蜜补充食物），待其羽化后，用菊小长管蚜 *Macrosiphoniella sanborni* 喂养 2 天，然后让其在菊小长管蚜密度较高的盆栽菊花上捕食 5 h，再分别饥饿 24 h 后作供试之用。供试的菊小长管蚜为恒温 25℃ ± 1℃条件下饲养所得的 3 ~ 4 龄若蚜。

1.2 实验方法

1.2.1 温度对六斑月瓢虫捕食功能反应的影响：共设 5 个密度处理，即 10、20、40、80 和 160 头高龄若蚜，每个密度处理设 5 个重复。实验条件为 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃（± 1℃），相对湿度 80% ± 5%。在内径 8 cm 高 10 cm 的广口瓶中分别接入上述不同密度的高龄若蚜，每个容器中接入一头供试瓢虫，24 h 后分别记录剩余的蚜虫数及自然死亡的蚜虫数。

1.2.2 容器大小对捕食作用的影响：选用内径 5 cm，高 10 cm 和内径 8 cm，高 10 cm 的广口瓶及长 16.7 cm，宽 11.4 cm，高 6 cm 的木盒为实验容器，在 25℃ ± 1℃条件下，每种规格的容器中放入不同密度的高龄若蚜：10、20、40、80 和 160 头，每个容器中接入 1 头供试瓢虫。24 h 后分别记录剩余的蚜虫数及自然死亡的蚜虫数，每个处理设 5 个重复。

1.2.3 天敌的种内干扰竞争实验：共设 5 个瓢虫密度处理，在 25℃ ± 1℃条件下，内径 8 cm 高 10 cm 的广口瓶中分别放入 1、2、3、4 和 5 头供试天敌及供捕食的 80 头菊小长管蚜高龄若蚜，24 h 后记录剩下的和自然死亡的蚜虫头数。每个处理设 5 次重复。

1.2.4 数据处理公式：1）功能反应：用 Holling Ⅱ 型圆盘方程（Holling，1959）拟合，

$$N_a = \frac{aNT}{1 + T_h aN} \qquad (1)$$

式中：N = 猎物密度；N_a = 被捕食的猎物数量；T = 捕食者可利用发现猎物的时间；a = 瞬间攻击率；T_h = 对一头猎物的处置时间。

将 Holling 方程线性化后用最小二乘法求解 a、T_h 的值（丁岩钦，1980）。

2）寻找效应估计（马骁等，1996）：

$$S = \frac{a}{1 + aT_h N} \qquad (2)$$

3）干扰反应：Hassell 和 Verley（1969）提出的干扰反应模型：

$$E = QP^{m} \quad 或$$

$$\log E = \log Q - m\log P \qquad \left(E = \frac{N_a}{N \cdot P}\right) \qquad (3)$$

式中：Q = 搜寻常数；P = 捕食者的密度；m = 干扰常数；E = 捕食常数，N_a = 共捕食的猎物数；N = 猎物密度

4）分摊竞争强度（邹运鼎等，1996）：

$$I = (E_1 - E_p)/E_1 \qquad (4)$$

式中：I = 分摊竞争强度，E_1 = 1 头天敌的捕食作用率，E_p = 密度为 P 的天敌捕食作用率

5）Hassell 和 Rogers（1972）提出的带有干扰参数的捕食作用方程：

$$N_a = a\mathrm{d}NP^{(1\ \ m)}/(1 + aT_h N) \quad （d 为常数）$$

式中：N_a = 被捕食的猎物数量；a = 瞬间攻击率；N = 猎物密度；P = 捕食者的密度；T_h = 对一头猎物的处置时间，m = 干扰常数。

2 结果与分析

2.1 六斑月瓢虫成虫捕食功能反应

不同温度下六斑月瓢虫对菊小长管蚜高龄若蚜的捕食功能反应见图 1。六斑月瓢虫的捕食量随着猎物密度的增加而增加，当密度较低时（10 ~ 40 头），增加的速度较快，密度较高时（40 ~ 160 头），增加的速度较慢；六斑月瓢虫的捕食量随着猎物密度的增加幅度以 25℃ 下最大，15℃ 下最小，20℃ 和 35℃ 下则十分接近。

根据公式（1）计算得到各温度条件下六斑月瓢虫捕食菊小长管蚜若蚜的功能反应方程及其参数见表 1。$1/N_a$ 与 $1/N$ 的相关系数 r 表明各温度条件下捕食量与猎物密度显著相关，卡方检验 $\chi^2 < \chi^2_{(0.01,4)}$（= 13.28），$P < 0.005$（$P_{(0.005,3)} = 0.974$），表明理论值与观察值比较吻合，Holling 功能模型较好地描述

了 15℃～35℃条件下六斑月瓢虫对菊小长管蚜的捕食效应。从表 1 中可以看出，处理一头若蚜所需的时间（T_h）以 25℃下最短，只需 0.0026 天，约 3.67 min；以 15℃下最长，约 28.38 min；瞬间攻击率（a）以 20℃下最大，其次是 25℃，以 15℃下最小。

表 1　不同温度条件下六斑月瓢虫的捕食功能反应

Table 1　Functional response of *Menochilus sexmaculata* predation on *Macrosiphoniella sanborni*

	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃
功能反应方程 $1/N_a=$	$0.0197+2.8177/N$	$0.0072+0.9760/N$	$0.0026+1.0131/N$	$0.0034+1.0381/N$	$0.0070+1.0052/N$
r	0.9970	0.9939	0.9992	0.9990	0.9996
T_h	0.0197	0.0072	0.0026	0.0034	0.0070
a	0.3549	1.0245	0.9871	0.9633	0.9948
捕食上限 Maximal predation	50.7	138.6	391.1	291.1	141.0
χ^2	0.4655	0.1340	0.3198	0.2814	0

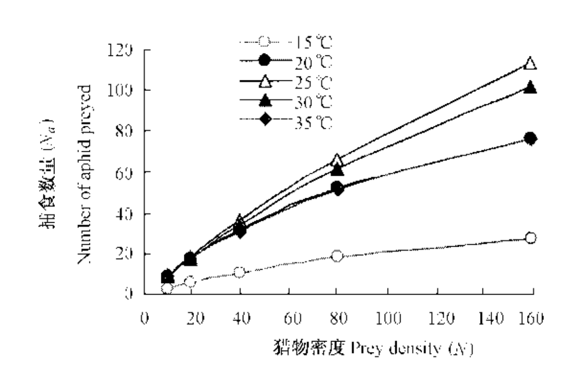


图 1　不同温度条件下六斑月瓢虫的捕食功能的反应

Fig. 1　Functional response of *Menochilus sexmaculata* on *Macrosiphoniella sanborni* at different temperatures condition

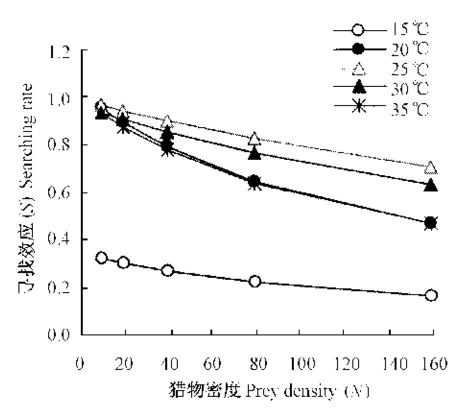


图 2　不同温度下六斑月瓢虫寻找效应与猎物密度的关系

Fig. 2　Relationship between searching rate and prey density of *Menochilus sexmaculata* at different temperatures

2.2　寻找效应估计

根据方程(2)以及表 1 中的参数值，可得六斑月瓢虫在不同的温度条件下的寻找效应 S（图 2）。相同温度下六斑月瓢虫寻找效应 S 是随着猎物密度 N 的增加而降低。在猎物密度相同时，六斑月瓢虫的寻找效应在不同温度下有较大的差异，特别在 15℃下，其寻找效应比其它温度下显著偏低，15℃～25℃下，寻找效应随温度的升高而增加，25℃～35℃下，寻找效应随温度的升高而降低。20℃和 35℃下，六斑月瓢虫寻找效应与猎物密度的关系十分接近。

2.3　六斑月瓢虫对菊小长管蚜捕食作用的种内干扰

猎物密度为 80 头/皿时，六斑月瓢虫对菊小长管蚜高龄若虫的平均捕食量随其自身密度的增大逐渐减少，捕食作用率（E）也相应地降低（表 2）。根据干扰反应模型—公式(4)计算的捕食作用率 E 列于

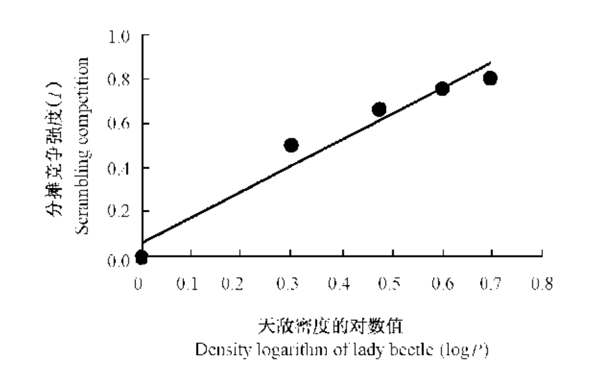


图 3　六斑月瓢虫种内分摊竞争强度 I 与自身密度 P 的关系

Fig. 3　Relationship between intensity of scrambling competition（I）and density（P）of *M*. *sexmaculata*

表 2。经分析得出搜索常数 Q 为 0.9003，干扰系数 m 为 0.9816。六斑月瓢虫捕食菊小长管蚜高龄若蚜过程中的自我干扰方程为：$E=0.9003P^{0.9816}$。

卡方检验得 $\chi^2 = 0.9933 < \chi^2_{(0.01,3)} = 11.34$，表明上述模型可以用来描述六斑月瓢虫捕食菊小长管蚜高龄若蚜过程中的自我干扰情况。根据公式(6)、表 1 中 25℃条件下的参数 a 及 T_h 的值以及观察结果可得带有干扰参数的捕食作用方程中 $d = 1.1739$，$m = 1.0122$，则 25℃条件下六斑月瓢虫带有干扰参数的捕食作用方程为：

$$N_a = \frac{1.1587NP^{0.0122}}{1 + 0.002517N}$$

表 2 不同密度的六斑月瓢虫捕食作用率 *E*、干扰系数 *m* 及分摊竞争强度 *I*

Table 2 Predation rate（*E*），intraspecific interference rate（*m*）and intensity of scrambling competition（*I*）of *M*. *sexmaculata* in different densities

	瓢虫密度 Density of lady beetle				
	1	2	3	4	5
捕食量(头/天敌) Number of aphids preyed/predator	77.33	31.17	25.78	18.75	15.13
捕食作用率 *E*	0.9625	0.4771	0.3222	0.2344	0.1892
分摊竞争强度 *I*	0	0.5970	0.6667	0.7575	0.8043
干扰系数 *m*			1.0122		

供试的猎物密度为 80 头/容器 80 aphids per container.

六斑月瓢虫成虫为取食菊小长管蚜所产生的竞争是分摊竞争，利用分摊竞争强度公式 $I = (E_1 - E_P)/E_1$ 计算所得的分摊竞争强度参数结果见表 2。经分析可得 I 与 $\log P$ 之间的相关系数为 $r = 0.9022 > r_{(0.05,3)}$，表明两者显著相关，其关系式为 $I = 1.1527\log P + 0.0666$，两者的线性关系如图 3，卡方检验值为 0.8403，$P > 99\%$，表明六斑月瓢虫捕食菊小长管蚜高龄若蚜的种内分摊强度 I 随着自身密度 P 的对数值的增长而呈直线增加。

2.4 温度对六斑月瓢虫捕食作用的影响

不同温度条件下，六斑月瓢虫对菊小长管蚜的捕食量见图 4。从图中可以看出，相同猎物密度条件下，在 15℃～25℃范围内，随着温度的升高，六斑月瓢虫捕食菊小长管蚜高龄若蚜的头数逐渐增多。而在 25～35℃范围内则有相反的趋势，即随着温度升高，捕食量逐渐下降。利用二次曲线模拟温度对六斑月瓢虫捕食作用的影响，其相应的模拟方程如下：

蚜虫密度为 10 头/皿：$y = -0.0371x^2 + 1.0905x - 18.924$，$\chi^2 = 0.9596$

蚜虫密度为 20 头/皿：$y = -0.0733x^2 + 4.1000x - 37.533$，$\chi^2 = 0$

蚜虫密度为 40 头/皿：$y = -0.1362x^2 + 7.8562x - 77.010$，$\chi^2 = 0$

蚜虫密度为 80 头/皿：$y = -0.4305x^2 + 23.0970x - 229.720$，$\chi^2 = 0.9616$

蚜虫密度为 160 头/皿：$y = -0.4295x^2 + 21.7760x - 204.010$，$\chi^2 = 0.0207$

利用 χ^2 检验其适合性。查表可得 $\chi^2_{(0.01,3)} = 11.34$，各猎物密度下二次曲线的卡方值都小于 11.34，结果表明上述二次曲线能较好拟合温度对六斑月瓢虫捕食作用的影响。

表 3 空间大小对六斑月瓢虫捕食的影响（25℃）

Table 3 Effect of space on predation of *M*. *sexmaculata* at 25℃

猎物密度 *N* Prey density	50 cm³		80 cm³		1 142.3 cm³	
	捕食量 N_a	寻找效应 *S*	捕食量 N_a	寻找效应 *S*	捕食量 N_a	寻找效应 *S*
10	10.00 ± 0.15	1.0092	9.67 ± 0.10	0.9629	8.67 ± 1.23	0.8737
20	19.33 ± 2.12	0.9498	18.33 ± 0.24	0.9400	17.67 ± 0.89	0.8580
40	36.67 ± 1.58	0.8497	36.33 ± 0.44	0.8970	33.67 ± 2.05	0.8281
80	58.67 ± 1.88	0.7019	77.00 ± 0.56	0.8220	71.00 ± 1.15	0.7741
160	67.00 ± 0.63	0.5207	95.00 ± 1.12	0.7037	89.33 ± 0.49	0.6849

2.5 容器大小对六斑月瓢虫捕食的影响

六斑月瓢虫在不同规格容器内对菊小长管蚜的平均捕食量及寻找效应见表 3。从表中可以看到，在低密度猎物条件下，容器增大，捕食量则减少。不同容器规格的实验结果符合 HollingⅡ型反应；当密度为 10～40 头/皿时，瓢虫的捕食量随着容器的增大而减少，当猎物密度为 80 和 160 头/皿时，瓢虫的捕食量以 8 cm×10 cm 容器中的最大，而以 5 cm×10 cm 容器中的最小。猎物密度为在 10～20 头/皿时，寻找效应随着容器的增大而减少，在猎物密度为 40～160 头/皿时，以 8 cm×10 cm 容器中的最大，而以 5 cm ×10 cm 容器中的最小。相同容器条件下，寻找效应 S 随着密度的增大而减少。相应的捕食功能模型参数见表 4。

χ^2 检验表明各容器下拟合模型的 χ^2 都小于 $\chi^2_{(0.01,3)}=11.34$，故其捕食功能反应适合用 Holling 圆盘方程来模拟。表 4 也表明在 10～160 头/皿猎物密度情况下，随着空间的增大，六斑月瓢虫对菊小长管蚜高龄若蚜的瞬间攻击率 a 下降，处理时间 T_h 减少，最大捕食量 N_a 增加。

表 4　不同容器条件下六斑月瓢虫的捕食功能反应

Table 4　Function response of *M. sexmaculata* in containers of different sizes

容器大小(cm^3) Container size	T_h	a	捕食上限 Maximal predation	功能反应模型 Disc equation	χ^2
50	0.0062	1.0765	161.4	$N_a=\frac{1.0765N}{1+0.00667N}$	0.4743
80	0.0026	0.9871	391.1	$N_a=\frac{0.9871N}{1+0.002571N}$	0.3202
1 142.36	0.0021	0.8901	475.2	$N_a=\frac{0.8901N}{1+0.001873N}$	0.4126

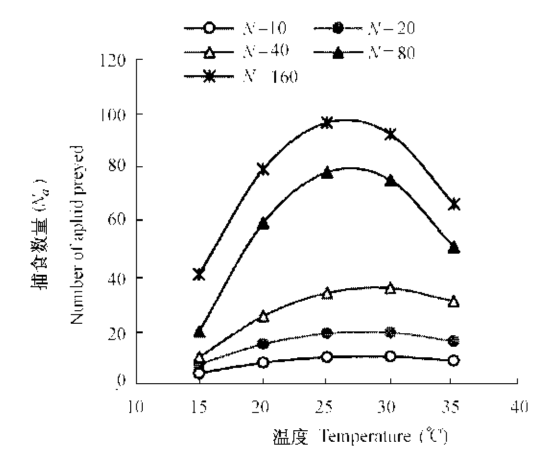


图 4　温度对六斑月瓢虫捕食菊小长管蚜的影响

Fig. 4　Effect of temperature on predation of *M. sexmaculata* on *M. sanborni*

3 讨论

3.1 六斑月瓢虫的捕食功能反应及种内干扰

Holling(1959)年提出按反应曲线的形状将功能反应分为三个基本的类型。六斑月瓢虫对菊小长管蚜高龄若蚜的捕食功能反应适合 Holling 圆盘方程(Ⅱ型)。在相同温度条件下，在 10～160 头/皿的猎物范围内，六斑月瓢虫的平均捕食量是随着猎物密度的增加而增加，随着自身密度的增大而减少，捕食作用率 E、寻找效应 S 随着自身密度的增加而下降。这与吴淼生(2000)及马骁等(1996)、侯美珍(1998)的研究结果相似。种内干扰实验表明，当瓢虫由 1 头增加到 2 头时，其捕食作用率下降的幅度很大，当瓢虫密度再增加时，捕食作用率下降的幅度并不大，这与马骁等(1996)报道的六斑月瓢虫捕食桔蚜时 E 下降幅度始终不大有差别，可能是因为捕食的对象不同所致。

3.2 温度对六斑月瓢虫捕食的影响

环境因子不但影响害虫发生，也影响天敌活动。本实验结果表明，六斑月瓢虫对菊小长管蚜的捕食作用与温度成抛物线的关系。在 15℃～25℃范围内，随着温度的升高，六斑月瓢虫捕食菊小长管蚜高龄若蚜的头数增多，而在 25℃～35℃呈相反的趋势，25℃时捕食控制作用最强，这与菊小长管蚜发生的最适温度 22℃～25℃是相一致的，这种现象可能与六斑月瓢虫在与菊小长管蚜的长期协同进化中所形成的种间关系有关。

3.3 容器大小对六斑月瓢虫捕食的影响

空间大小的变化使得捕食者对猎物寻找的难易程度发生变化，从而捕获猎物数有所不同，但功能反应的类型不变，均为 HollingⅡ型。随着空间容积的增大，六斑月瓢虫对菊小长管蚜高龄若蚜的捕食难度加大，瞬间攻击率 a 下降。研究表明捕食作用容器规格的增大对六斑月瓢虫捕食作用的影响并不完

全等同于猎物密度的减少对其捕食的影响。原因可能有以下几点：①六斑月瓢虫不是处于特别饥饿的状态(供试瓢虫在食饱后只饥饿了24 h)。②当猎物密度很低而容器又较大时，搜索消耗的能量比获得的能量少。③容器规格最大的长方体胶盒与其他的圆柱型广口瓶形状不同，这也可能导致寻找猎物的难易程度不同。

参考文献(References)

Ding YQ, 1980. The Theory and Application of Insect Population Mathematics Ecology. Beijing: Science Press. 256–626. [丁岩钦，1980. 昆虫种群数学生态学原理及应用. 北京：科学出版社. 256–626]

Hassell MP, Rogers DJ, 1972. Insect parasite responses in the development of population model. *J. Anim. Ecol.*, 41: 661–667.

Hassell MP, Varley GC, 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1 113–1 137.

Holling CS, 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Can. Ent.*, 91: 385–398.

Holling CS, 1959. The components of predation as revealed by a study of small mammal predation of the European pine sawfly. *Can. Ent.*, 91: 293–320.

Hou MZ, 1998. Functional response of *Menochilus sexmaculata* (Fabricius) and *Coleosoma octomaculatum* Boes. *et* Str. on *Rhopalosiphum maidis* (Fitch). *Guangxi Plant Protection*, 4: 7–9. [侯美珍，1998. 六斑月瓢虫和八斑鞘腹蛛对玉米蚜的功能反应. 广西植保，4: 7–9]

Ma X, Wei DY, Zhao Q, 1996. Studies on the predation of *Menochilus sexmaculata* (Fabricius) on *Toxoptera citricidus*. *Cultivation and Planting*, 16(3): 55–57. [马骁，韦党扬，赵琦，1996. 六斑月瓢虫对桔蚜捕食作用的研究. 耕作与栽培，16(3): 55–57]

Pang H, 1991. Studies on predation of three species of ladybugs on *Diaphorina citri* adults. *Natural Enemies of Insect*, 13(4): 186–188. [庞虹，1991. 三种瓢虫对木虱成虫的捕食量观察. 昆虫天敌，13(4): 186–188]

Wu MS, 2000. Studies on the feeding and predation of *Menochilus sexmaculata* (Fabricius). *Jiangxi Plant Protection*, 23(2): 33–35. [吴淼生，2000. 六斑月瓢虫食性及捕食能力初步研究. 江西植保，23(2): 33–35]

Zhang SM, Jiang YC, Sheng RW, 1980. A research briefing of *Menochilus secmaculata* (Fabricius). *Natural Enemies of Insect*, 2(4): 13–16. [章士美，江永成，沈荣武，1980. 六斑月瓢虫研究简报. 昆虫天敌，2(4): 13–16]

Zou YD, Geng JG, Chen GC, Meng QL, Wang GM, 1996. Predation of *Harmonia axyridis* nymph on *Schizaphis graminun*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 7(2): 197–200. [邹运鼎，耿继光，陈高潮，孟庆雷，王公明，1996. 异色瓢虫若虫对麦二叉蚜的捕食作用. 应用生态学报，7(2): 197–200]

(责任编辑：袁德成)